

プラズマ : ガンマ10グループ

著者	玉野 輝男, 谷津 潔, 石井 亀男
雑誌名	年次研究報告
巻	1992
ページ	101-124
発行年	1993
URL	http://hdl.handle.net/2241/13951

VII. プラズマ

VII.1 ガンマ10グループ

玉野輝男、谷津潔、石井亀男、北條仁士、齊藤輝雄、長照二、板倉昭慶、山口直洋、長山好夫、中嶋洋輔、平田真史、

〔1〕 研究の概要

ガンマ10は実働中の世界最大のタンデムミラーで、主プラズマを閉じ込める中央部とそれに付随したベースボールコイルを有するアンカー部、及び、アンカー部からバリア部によって隔離されたプラグ部から成る。イオン閉じ込め電位は主としてプラグ部に電子共鳴加熱を加えることにより作られ、今までよりもっと広範囲なプラズマパラメターの組み合わせを使ってガンマ10タンデムミラーに於ける閉じ込めと安定性の研究がなされた。

主な成果を列挙すると

(1) 電位による閉じ込めの進展

- ・ 中央部の粒子とエネルギーの閉じ込め時間がイオンと電子の双方について直接に且つ同時に測定され、全てが電位閉じ込めの古典的プロセスで説明できることが確認された。
- ・ 閉じ込め電位がマイクロ波加熱によってのみでも生成される事が実証された。
- ・ 閉じ込め電位 2.0 kV とサーマルバリア電位 1.4 kV が達成された。
- ・ 閉じ込め電位の密度及びマイクロ波パワー依存性が調べられ、電位は中央ミラー部の密度に強く依存せず、パワーの上昇と共に指数関数的に増大することが確認された。このことは将来の高密度プラズマにおいても電位が容易に形成され得ることを示唆する。
- ・ 電位の形成によりプラズマの密度揺動が減少し、閉じ込めが改善されることが実証された。この機構はトカマクの周辺プラズマでの電位の影響と共通の物理である可能性が強い。
- ・ プラズマの非等方性に起因してイオン・アルフェン・モードの励起及び励起による非等方性の緩和が観測されたが、閉じ込めに影響に与えていないことが確認された。

(2) 高ベータ化への進展

- ・ 中央ミラー部に閉じ込め可能なベータの限界がアンカー部（極小磁場部）ベータに比例することが実験的に確認された。
- ・ アンカー部ベータ20%がマイクロ波加熱により達成された。

(3) 定常維持の基礎研究の進展

- ・ 定常維持の為の基礎研究がスタートし、放電時間0.1秒、電位形成時間0.05秒が達成された。

[2] X線計測に基づく、タンデムミラー各部の電子速度分布関数と電子閉じ込め電位の相関の研究

タンデムミラー型プラズマ閉じ込め装置GAMMA10の各領域に於て、総合的にそれぞれの電子速度分布関数を、X線計測により求めた。そしてその相関を調べ、以下に示す電子に対する電位の効果を、世界に先駆け明らかにした。

即ち、Si(Li)半導体検出器、Pure Ge半導体検出器、NaI(Tl)シンチレーション検出器、シリコン表面障壁型（SSB）検出器、マイクロチャンネルプレート（MCP）を用いて、プラズマから輻射されるX線計測を行なった。この結果、様々な形の電子速度分布関数、並びにその空間分布の詳細が得られた。ここではX線エネルギースペクトル計測法、X線吸収法、X線トモグラフィ法等の手法を用い以下の結果を見出した。即ち、(i) プラズマイオンを正電位の生成により閉じ込めるためのプラグ部に通常のマックスウェル分布と大きく異なるプラトー型の速度分布関数を世界に先駆けて計測した。これはタンデムミラープラズマ閉じ込めの成否にかかわる電位生成機構を理論的に導いた、米国のコーエンの強い電子サイクロトロン加熱（ECH）理論の予測の初めての実証という意義を持ち、これは同時に同理論に基づく高効率な今後の電位生成の進展に向けての、基本を示したものとしての重要性をもつ。(ii) 次に、電子の閉じ込めに重要な負の電位生成領域であるサーマルバリア部には60keVのミラー磁場により閉じ込められた相対論的電子マックスウェル分布が生成されていることを明らかにした。(iii) また、GAMMA10の中央部（セントラル部）に数百eVと数keVの2成分のマックスウェル分布を観測した。サーマルバリアを形成する実験において、セントラル部の電子の温度、時間変化はプラグ部の電子温度、時間変化とは非常に異なり、これは磁力線で直接結合されているにもかかわらず、サーマルバリア電位の存在に基づき、プラグ部とセントラル部の電子の往来を妨げる熱遮蔽効果が実際に達成されている事を示している。それらの部分で得られたX線トモグラフィのデータによればプラズマはその生成中心軸に対して良い軸対称性を示しており、非軸対称性に基づく局所電場の発生による非両極性半径方向粒子損失が少ないことが予想される。

以上の様に、本研究では (i) タンデムミラーの主要各部の多様な温度並びに形状を持つ電子速度分布関数を世界に先駆けて示すと共に、(ii) その空間分布の良い対称性についても初めて明らかにし、(iii) 同時に、タンデムミラーのプラズマ閉じ込めの特徴である電位生成に対する基本となる強いECH理論、或いはスケール則に物理的な描像を示した点に於て、新規性と重要性を持っている。

[3] 新型端損失イオン計測器の制作とイオン閉じ込め電位の比例則の研究

端損失イオンを計測し、その温度及びプラグ部電位の情報を得る事は、電位によるイオン閉じ込めを、その本質的プラズマ閉じ込め機構としているタンデムミラー型装置にとっては、極めて重要な研究テーマである。

しかしながら、端損失イオンを計測するためには、イオンと共に GAMMA10 端部に流失してくる、keVオーダーの電子の流れをイオンと分離して計測しないと、この電子の信号がイオンの計測信号と逆符号をもつために、イオン計測の大きな支障となってきた。今までのファラデーカップに電子やイオンのリペラーグリッドを設置するだけの方式では、完全には、この電子の分離が不可能であった。

そこで今回グリッドを磁力線に対し、斜めに設置する事により電子とイオンの軌道に差異をもたせ、入射電子の影響の全くなく著しい特性の改善を行なった新型斜入射型端損失粒子計測器 (SELA) の設計・製作と、GAMMA10 でのプラズマ計測を行なった。(図1)

更にプラグ部電子サイクロトン加熱用入射パワー P_{P-ECH} に対するイオン閉じ込め電位の依存性を種々のプラズマ密度に対して求めた。これらよりイオンのエネルギー閉じ込め時間と P_{P-ECH} の比例則を求めた。(図2)

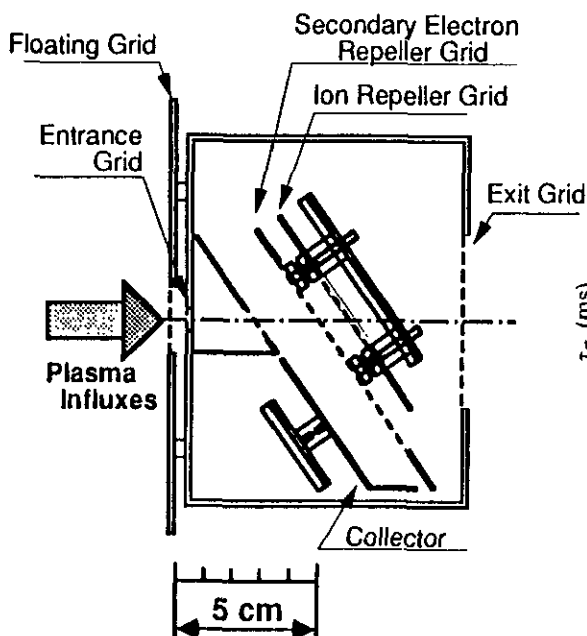


図 1

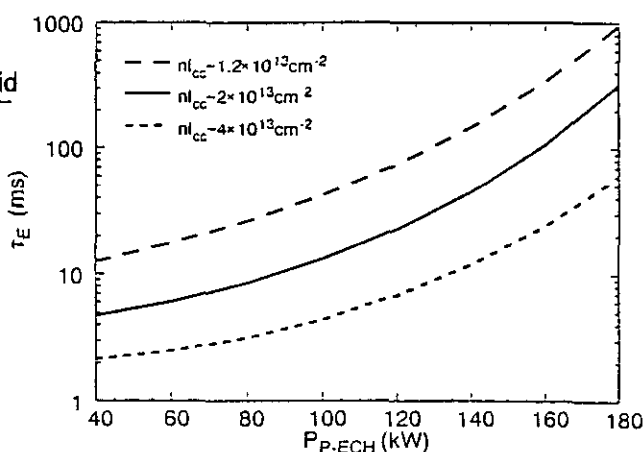


図 2

[4] 端損失イオン速度分布関数測定とビームプローブによるプラズマ電位形成及び電位閉じ込めの研究 (1,2,3,4,)

開放端型磁場閉じ込め装置内のプラズマは、その速度空間内に損失領域を持つ。捕捉領域にあるプラズマは、粒子衝突や揺動電磁場との相互作用等が原因となって損失領域に移行し、磁力線に沿って装置端に流出する。閉じ込め時間を向上させる上で損失領域を狭めることが不可欠なため、開放端型磁場閉じ込め装置ガンマ10では、プラズマの両端部近傍に電位を形成させ、損失領域を効果的に狭めている。この流れに沿って、端損失イオン速度分布関数を求め電位形成により狭められた損失領域を直接検証することが出来る新計測法を考案し、NBIのスロッシングイオン無しで ECRH により閉じ込め電位を形成する実験に適用した。新測定器は電位形成時に発生する高温電子成分を原理的に排除することが出来るため、端損失イオンが大きく減少する高電位形成時に特に威力を発揮した。更に、磁力線に沿ってのガンマ10全体に渡る電位構造の知見は、電位形成及び閉じ込めを理解する上で重要である。イオンと電子は主として ICRF や ECRH により加熱されるため、等方的な温度分布からずれる傾向を持ち、従って、強磁場部に大きな電位が発生する可能性が高い。この観点に立って最強磁場部であるプラグ/バリアー内側ミラースロート部の電位をビーム・プローブ法により計測することを試みた。

(1) 端損失イオン速度分布関数の測定

端損失イオンのエネルギーとピッチ角を同時に測定し、端損失イオン速度分布関数の時間変化を調べるために、 $\pi/\sqrt{2}$ 偏向円筒型エネルギー成分分析器 (ELECA) が製作されている。測定器設置場所の弱磁場が測定器内のイオン軌道に与える影響について詳細に検討し、測定下限値を明らかにすると共に、磁場の影響に対する補正係数を見出した。高周波をアンカー部とセントラル部に入射し、プラズマを生成すると共に加熱した後、プラグ部及びバリアー部での ECRH により閉じ込め電位を形成させる、RF モード実験に適用した。ECRH が行われる前は、アンカー-或いはセントラル部の電位が高くなり、プラグ/バリアー部両端の強磁場に対応する2重損失境界が端損失イオンの速度空間に現れた。図(1) プラグ部へのマイクロ波入射により、プラグ部近傍の電位が最高になり、先に現れた2重損失境界が単純化されることを速度空間内のイオン分布の観点から見出した。

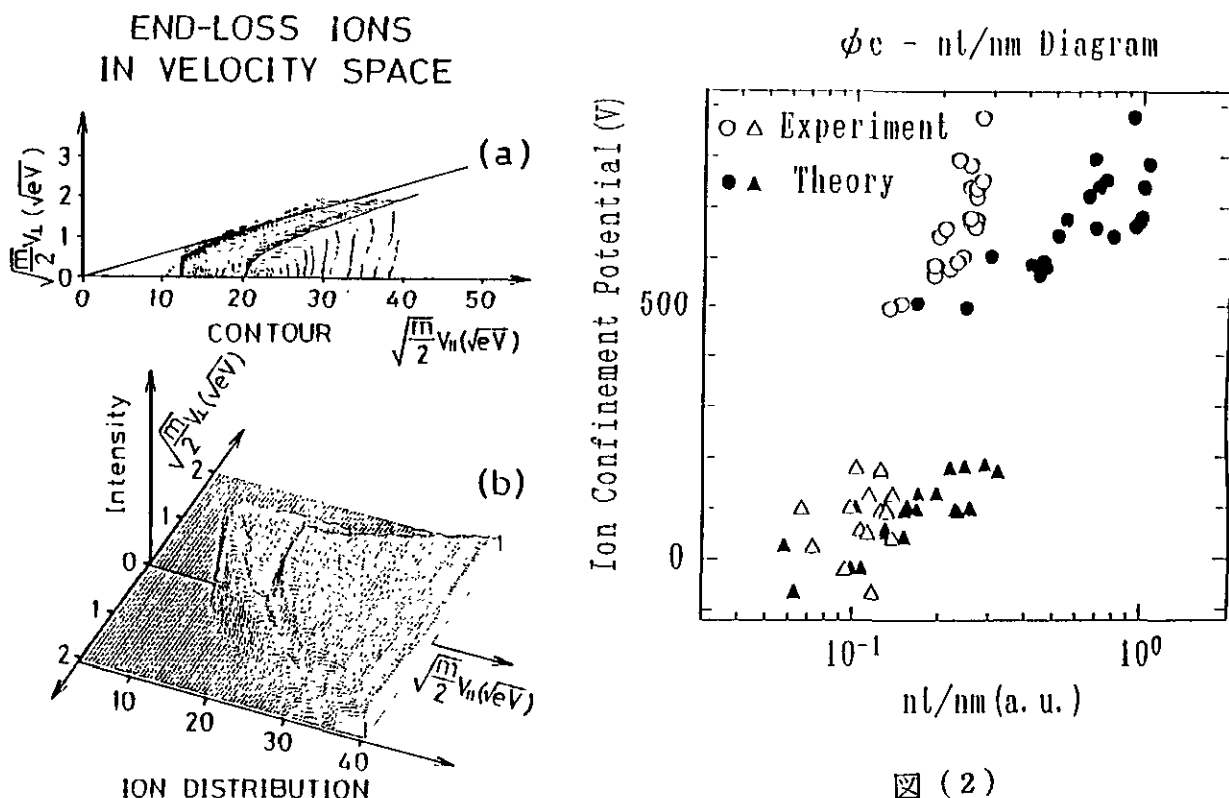
(2) プラグ電位形成

RF モードに於いて、NBIのスロッシングイオン無しでプラグ部へのマイクロ波入射により閉じ込め電位が形成されることを、バリアー部とセントラル部ビーム・プローブの測定結果を考慮に入れ、速度空間内の端損失イオンの分布より明らかにした。電位形成機構を調べるため、閉じ込め電位が形成されている時、装置端に流出する端損失イオンのエネルギースペクトルを2種類の流出機構モデルにより算出し、測定結果と比較した。(1) 捕捉領域内のイオンが Pastukhov 型の分布関数で表される様に損失領域内にイオンが流入する場合。(2) 損失領域内のイオンが Maxwell-Boltzmann 分布で表され装置端に流出する場合。測定で得られるエネルギースペクトルには、頂点より高エネルギー側では説明され得るが、理論値と一致しない低エネルギー側の端損失イオンが存在することを見出した。これら

のイオンはマイクロ波入射による電離で生成したと仮定し、ビーム・プローブとの同時測定により、サーマルバリアの深さと閉じ込め電位の大きさとの関係を、プラグ/バリアー部及びセントラル部の密度増加に関係させて調べ、プラグ電位がECRHに伴う電離により促進形成される可能性を検討した。図(2)

(3) ミラースロート部の電位測定

プラグ/バリアー内側ミラースロート部の磁場強度は約30 k Gauss に達する強磁場部である。既存の真空ポートを使用し、通常のビーム・プローブ法で使用されている様に、2次イオンのエネルギーを磁場コイル外で分析する場合、100 keV 以上の入射エネルギーを必要とし、この方法を使用するのは得策ではない。入射ビームとして低エネルギーの金の中性粒子を採用し、ガンマ10コイルの磁場勾配を利用すると、入射ビームの軌道に沿ってプラズマ内でイオン化した粒子は、各々磁場軸方向にずれ分離する。2次イオンの軌道を解析検討した結果、2次イオンを2次元面で捕らえれば、入射ビームを掃引する事無くビーム位置からプラズマの径方向電位分布が求まることが分かった。スパッタリング型イオン源及びトランスポート系を設置しビーム特性について調べた。



図(1)

Reference

- (1): Phys. Fluids B, Vol.4, No.12, (1992) 3823. K.Ishii, et al.
- (2): 第9回プラズマ核融合学会 1992年10月 29pC11. 田中俊明、他
- (3): 第10回プラズマ核融合学会 1993年3月 27aD6. 石井亀男、他
- (4): Technical Issues in the Application of Heavy Ion Beam Probes. (1993) K.Ishii.

[5] ガンマ10バリア部における中性粒子入射実験 講34)

ガンマ10バリア部には、プラグ・バリア電位の形成を目的とするスロッシングイオン分布形成用中性粒子ビーム入射（スロッシングNBI）装置、並びにサーマルバリア部に定常に維持することを目的とする荷電交換ポンピング用中性粒子入射（ポンピングNBI）装置が設置されている。現在のところポンピングビームの入射角はエンドミラー磁場のロスコーンより外側に設定されているので、ポンピングビームはスロッシングビームと同様に、スロッシングイオンとしてプラズマ内に捕捉される。

本研究では、閉じ込め電位形成の物理機構の解明とプラズマ閉じ込めへの寄与を目的として、プラグ・バリア部における中性粒子ビーム入射により生成される高速イオン（スロッシングイオン）の軸方向密度分布とプラズマパラメータへの効果を調べた。

図1はガンマ10のプラグ・バリア部と中性粒子入射ビームラインの模式図を示している。スロッシングNBIは、閉じ込め磁場の中心軸に対して41度の角度で入射される。ポンピングNBIの入射角度は、30度に設定されている。入射された高速中性粒子ビームは、プラズマとの荷電交換反応により高速のスロッシングイオンとなり、磁場に捕捉される。閉じ込められている高速イオンの一部は、プラズマ中の中性粒子と再び荷電交換反応を起こして、プラズマ外に放出され、二次電子検出器（SED）により計測される。図2は、測定されたスロッシングイオンのピッチ角分布を示す。図から判るように入射角に対応した点にピークを持つ分布を呈している。この結果を用いて、スロッシングイオンの軸方向密度分布が求められることが出来た。

図3は、高速イオンの密度に対するプラグ・バリア間の電位差を示している。十分な密度範囲にわたる測定には至っていないが、密度の上昇に伴い電位差が大きくなる傾向を示している。図4は、セントラル部プラズマの線密度に対する反磁性量の依存性を、中性粒子ビーム入射の有無で比較している。この図から、ビーム入射を行なった場合、より高い反磁性量が得られていることが判る。これらの結果から、プラグ・バリア部での中性粒子ビーム入射は、プラズマパラメータの向上に寄与することが明らかとなった。今後、図3

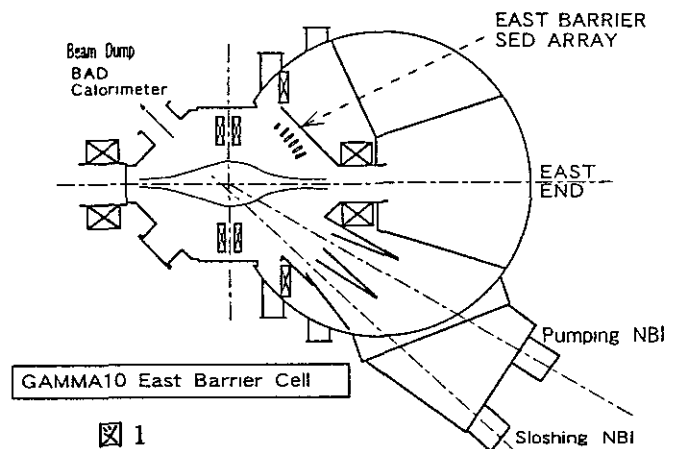


図1

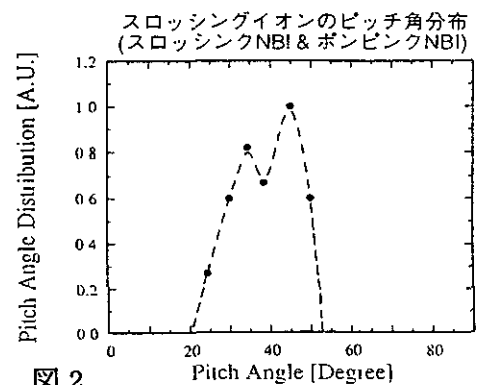


図2

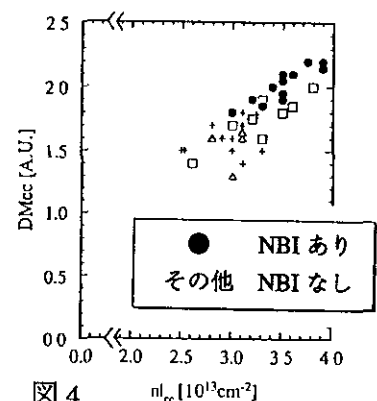
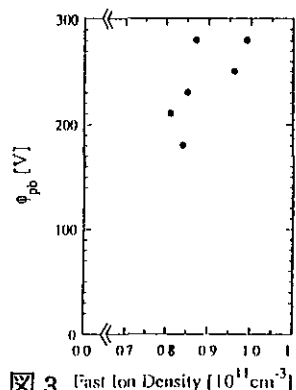


図4

[6] タンデムミラーにおける端損失電子計測とエンド部電位のスケーリング則⁵⁾

ガンマ 10 を始めとして、電位形成に電子サイクロトロン共鳴加熱 (ECRH) が主要な役割を果たすタンデムミラーでは、基本波 ECRH により誘起される軸方向の強い電子流が、プラズマ電位の形成に大きな役割を果たしている。特に、プラズマ閉じ込め領域と装置端壁間のエンド部の電位形成には、この電子流が支配的な役割を担っている。一方、エンド部の電位形成機構を知ることは、タンデムミラーにおける電位形成機構を全体として理解するうえで、非常に重要な要素である。

今回我々は、ガンマ 10 において装置端部に流出する電子流を種々の運転条件にわたって測定し、プラグ部の電位とエンドプレートの浮遊電位との差 $\Delta\Phi$ のスケーリング則を得た。端損失電子はエンドプレートの後方に設置された多重グリッド型の静電エネルギー分析器により測定される。端損失電子流のエネルギースペクトルは単一の温度では記述できないが、図 1 に示すように 2 温度成分のマックスウエル分布で良く近似できる。低温成分の温度を T_{eL} 、高温成分の温度を T_{eH} 、エンドプレート上の全流束に占める高温成分の流束比を β とするとき、実効温度 T_{eff} を $T_{eff} = (1-\beta)T_{eL} + \beta T_{eH}$ で定義する。 $\Delta\Phi$ と T_{eL} の間には正の相関があるが、運転条件によるバラツキが大きい。図 2 は T_{eff} に対する $\Delta\Phi$ のプロットである。両者にはよい相関が見られ、 T_{eff} の導入により $\Delta\Phi$ が統一的に整理されることが分かる。

最近我々の開発したエンド部の電位形成モデルはこのスケーリングを良く再現するので、エンド部の電位はモデルの想定するように、プラグ部からミラースロートまでの電位差、その外側の磁場勾配による電位降下及びエンドプレート前面のシース電位の 3 つの要素からなることが分かった。

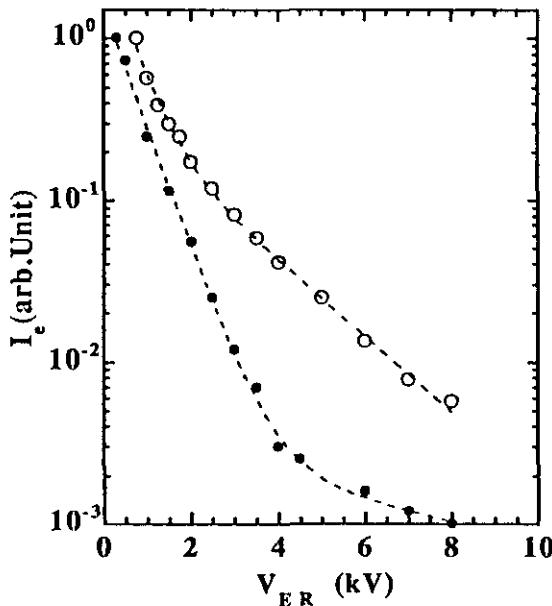


図 1

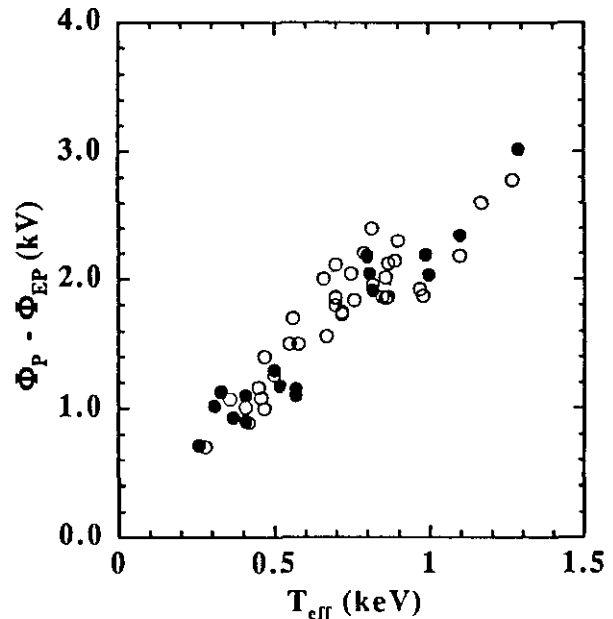


図 2

タンデムミラープラズマにおいて、イオンの加熱機構やエネルギー閉じ込め機構を解明する上で、イオン温度のプラズマ半径方向の空間分布、時間変化を知ることは不可欠な条件である。本研究では、ガンマ10セントラル部に設置している中性粒子エネルギー分析器(NPA)を用いて、イオンサイクロトロン周波数領域(ICRF)の波動によって加熱されたプラズマから放出される荷電交換中性粒子を計測した。

本分析器は、セントラル部の中央部近傍に磁力線方向に対して直角に設置されており、ICRF波動により加熱された垂直方向のピッチ角を持つイオンの計測を行なっている。またNPAは、測定角度を上下方向に振ることにより、荷電交換中性粒子束のプラズマ半径方向の分布を得ることが出来るように設計されている。

図1はNPAの模式図を示す。荷電交換中性粒子は、水素ガスで満たされたストリッピングセル内でイオン化され、平行平板型の静電分析器でエネルギー分別される。測定する中性粒子のエネルギー領域は、1keVから30keVまでである。イオンは、チャンネルトロン型電子増倍管にて、パルス信号に変換されスケーラーにて計数される。

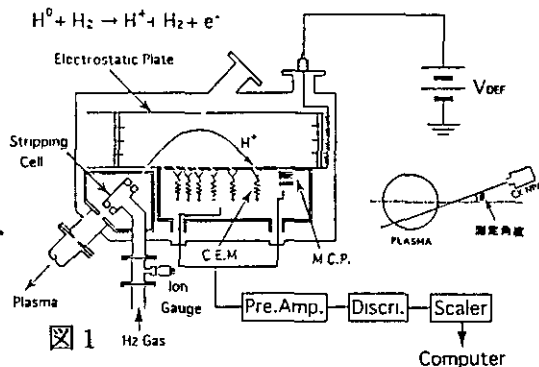


図1

図2は、ICRF加熱された典型的なプラズマにおける、いくつかの測定角度でのエネルギースペクトルを示している。図から判るように、エネルギー分布は、上下に非対称な分布を呈している。この非対称性の方向がイオンのラーマー運動に関連するものである

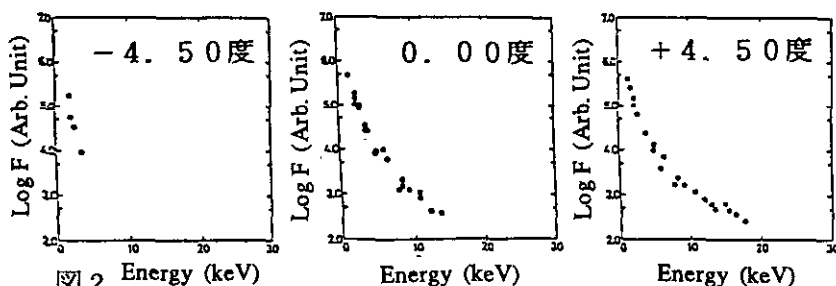


図2

との推察から、この効果の考慮に入れたイオン温度の径方向分布を導出する新しい解析手法を考案し、実験データの解析に適用した。また、プラズマ中に存在する中性水素分子の効果についても上記の解析手法に取り入れる為に、中性粒子輸送シミュレーションのモンテカルロ計算コードをガンマ10に適用して、中性水素原子・分子の径方向密度分布を求め、ICRF加熱プラズマのイオン温度空間分布評価を行なった。

図3は、求められたイオン温度プロファイルの一例を示す。図から、イオン温度が他のプラズマパラメータに比べて急峻なプロファイルを示していることが判る。この結果を用いて、荷電交換中性粒子束強度の半径方向分布を計算したところ、実験結果と良い一致を見た。このことから、本解析法によりイオン温度の詳細な計測が可能であることが確認された。以上の結果に基づいてイオンのエネルギー損失量の評価を行なったところ、プラズマの中心部では、電子とのクーロン衝突によるエネルギー損失が、周辺部では荷電交換損失が大部分を占めることが明らかになった。

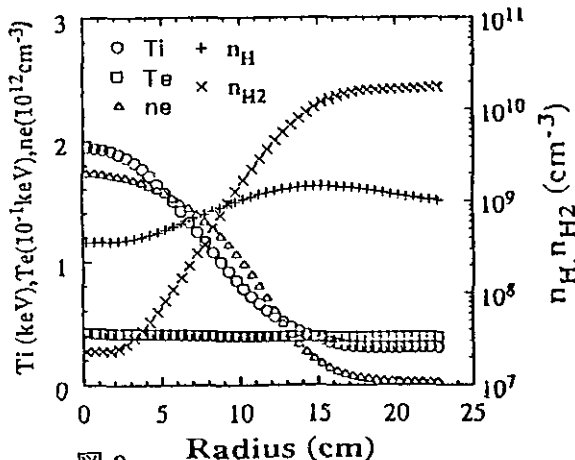


図3

〔 8 〕 ガンマ 1 0 プラズマ周辺部ガス圧力測定用
ベニング放電型真空計の製作と特性 講 3 1)

開放端型プラズマ閉じ込め装置に於て、プラズマへの適切な粒子補給の制御を行ない、高密度プラズマを安定に維持する為には、プラズマ周辺部の圧力を測定することが重要な課題である。本研究では、ベニング放電を用いた真空計を製作し、その特性を調べることによって、この真空計によるプラズマ周辺の圧力計測が可能であるかどうかを検証した。

プラズマ閉じ込め装置における真空計として一般的なものである電離真空計は、磁場の影響を受け易い。そのためにプラズマ領域から離すことによって閉じ込め磁場の影響を避けるように設置されている。本真空計は、プラズマ閉じ込めに用いている磁場を利用するため、ガンマ 1 0 本体の近傍に設置することが出来、応答の速い計測が期待できる。また、放電電流による全圧計測に加えて、放電光を分光し、その組成を同定することによって分圧を測定できる可能性を持っている。

本計測器をガンマ 1 0 本体に設置する前に、真空計としての基本的な機能を確認するために、テストチャンバー内において、一定のガス圧力下でのベニング放電特性を調べる実験を行なった。図 1 a は、本実験で用いた磁場強度の時間変化を示している。実験はガンマ 1 0 本体の磁場を用いた。図 1 b、c は、導入ガスを水素を用いた場合に測定された放電電流、分光器で観測された水素バルマー α 光 ($H\alpha$ 光) 強度の時間変化を示している。磁場強度が一定となり、放電が時間的に安定した時点の放電特性を調べた結果、530 ガウス以上の磁場強度において、放電電流が一定となり、磁場強度に依存しないことが明らかになった。

図 2 は、テストチャンバー内の水素ガス圧力に対する放電電流、 $H\alpha$ 線の強度の関係を示している。印加電圧を 2 kV ~ 5 kV の条件で、圧力と放電電流に比例していることが判る。また $H\alpha$ 線の強度についても良い比例関係を呈している。また放電光の強度は放電電流に強く依存しており、その他のパラメータには相関がないことが判った。以上の結果、本検出器は真空計としての基本的な性能を有しており、プラズマ周辺部の圧力計測に対する有用性が確認された。

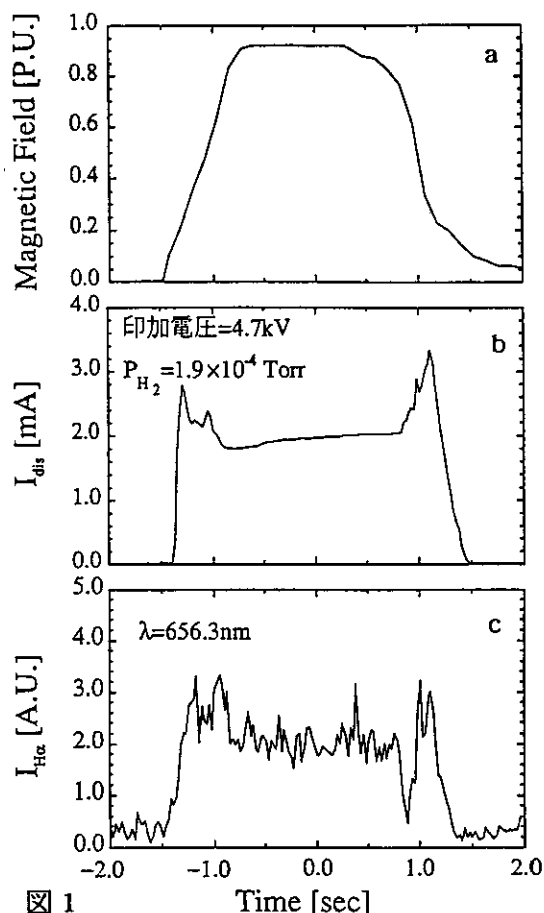


図 1

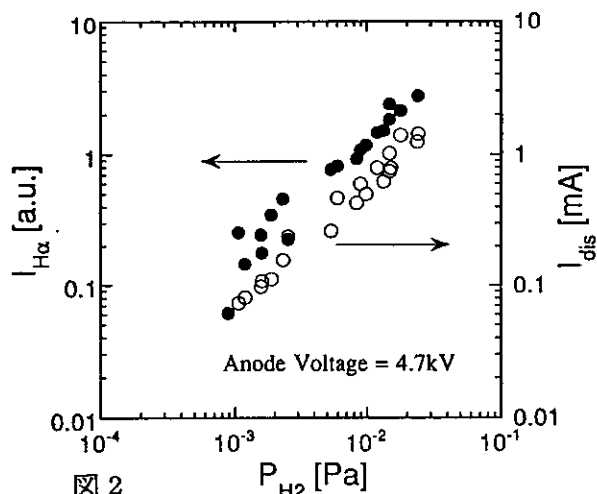


図 2

[9] 2方向観測によるプラズマ中H α 光強度空間分布

プラズマのエネルギー閉じ込めを検討する際に、プラズマの高温イオンと荷電交換反応を通してプラズマのエネルギーを持ち去る中性原子の密度が重要な量になっている。中性原子密度はプラズマから放射されるH α 線強度を絶対測定することにより求めることができる。これまではH α 線放射輝度分布測定を一方向から行い、プラズマの軸対称性を仮定してH α 線体積放射率を算出した後、中性原子密度を決定していた。この程、H α 線検出器アレイを増設し二方向からH α 線放射輝度分布の測定ができるようにした。この二方向から得られた放射輝度分布のデータを使って画像再構成をすることにより、プラズマが非軸対称な時でもH α 線体積放射率の二次元分布を求めることが可能になった。

プラズマに局所的に水素ガスを注入した実験でのH α 線強度二次元分布を図に示す。プラズマ中心部よりも周辺部に対称に分布しているH α 線強度が、ガス注入によって局所的に増大している様子が明らかである。この画像再構成によって得られたH α 線体積放射率から中性原子密度が推定でき、ガスを注入している間中性原子密度は上昇し、一方プラズマ反磁性量（閉じ込めプラズマのエネルギーに比例）が減少している事がわかる。この事からプラズマ中高温イオンが、注入されたガスと荷電交換反応を起こしてプラズマのエネルギーが失われていくと解釈できる。

また、この二方向H α 線検出器アレイは、プラズマの位置や形状のモニターとして用いることができ、プラズマの巨視的不安定性を研究するための有効な手段ともなる。

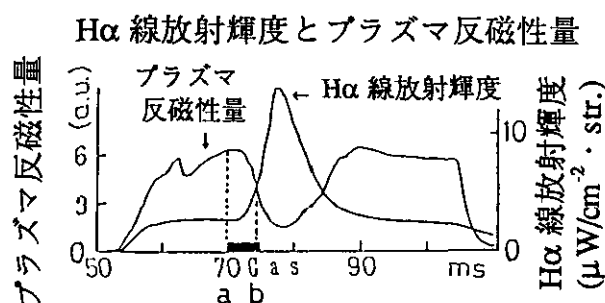


Fig.1. H α brightness and plasma diamagnetism signals in a gas injection shot. Additional gas was introduced during a period marked as a black bar along time axis.

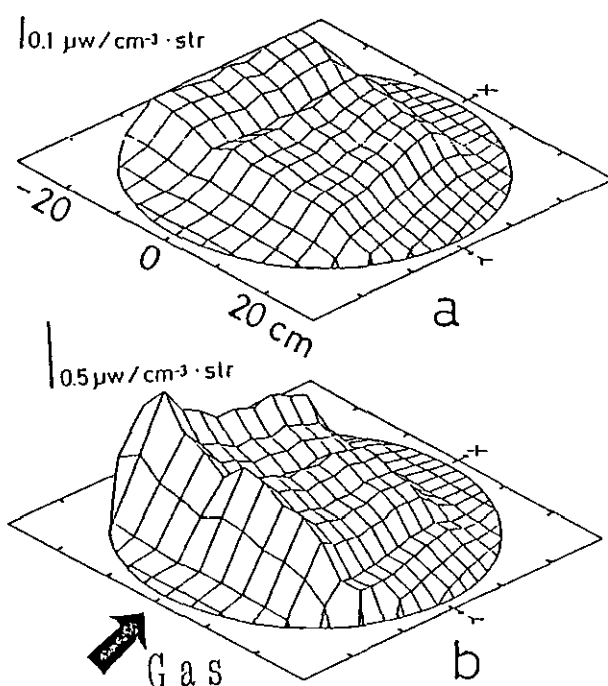


Fig.2. Reconstructed H α emissivity profiles in the plasma cross section.

- a) Before additional gas injection.
- b) During gas injection.

[10] ガンマ10プラズマに於ける微視的不安定性¹⁾

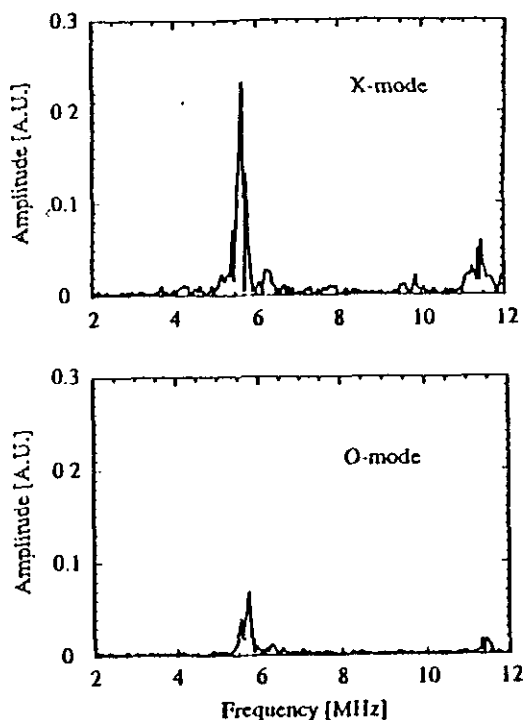
プラズマの閉込めと輸送現象との関連、特にセントラルセルに蓄積されたエネルギーが高周波加熱の途中で低下する現象との関連でプラズマの不安定性の研究を行っている。ここでは主としてマイクロ波反射計による観測について述べる。プラズマ柱に半径方向から入射されたマイクロ波は電子密度の半径方向分布に従い遮断層で反射されるので、入射波の周波数を変える事により局所的情報を得る事が出来る。

セントラルセル中央部にマイクロ波反射計を設置し、YIG発振器により周波数7~18 GHz、出力150mWのマイクロ波信号をホーンアンテナからプラズマ柱に直角に入射する。プラズマの中心軸上電子密度は約 $2 \times 10^{13} / \text{m}^3$ なので入射されたマイクロ波は中心へ向かう途中の遮断層で反射され、同じアンテナで受信される。この信号はサーキュレータで入射波と分離された後、参照波と混合されホモダイン検波される。検波出力は低周波成分、高周波成分夫々別個のアナログデジタル変換器でデジタル化されパーソナルコンピュータでスペクトル解析される。又、ホーンは2個有り、Oモード（正常波）、Xモード（異常波）両者の観測が可能である。

(1) 高周波成分（イオンサイクロトロン周波数近傍）

第1図に反射波信号の周波数スペクトルを示す。イオン加熱はイオンサイクロトロン周波数近傍6.3MHzで行なわれており加熱用高周波の他にそれより少し低い領域に周波数約5.7MHzの大きな山が現れている。波動が磁場揺動成分を含む場合はXモード信号に寄与する。この図からXモードの振幅の方がOモードより大きいことが判り、この揺動は磁場揺動成分を含む電磁波動と考えられる。更に、周辺部に配置された磁気プローブによっても観測されアルフベニオンサイクロトロン(AIC)不安定性と確認された。

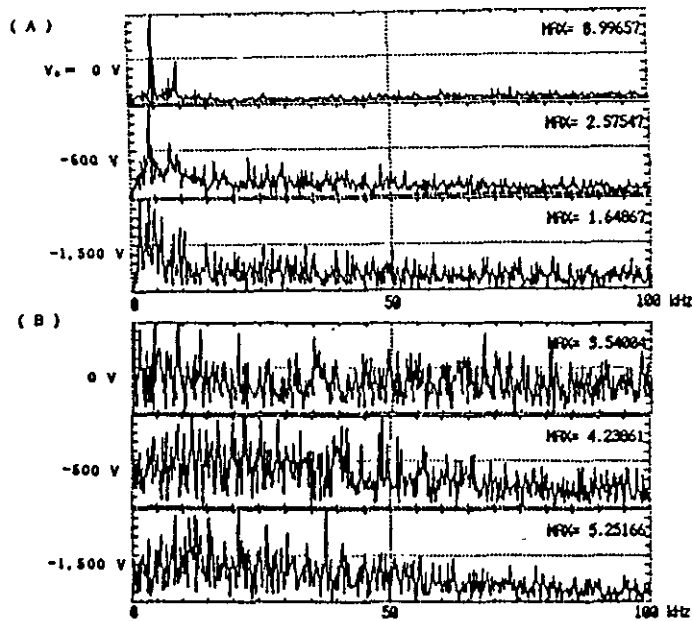
第1図
周波数スペクトル



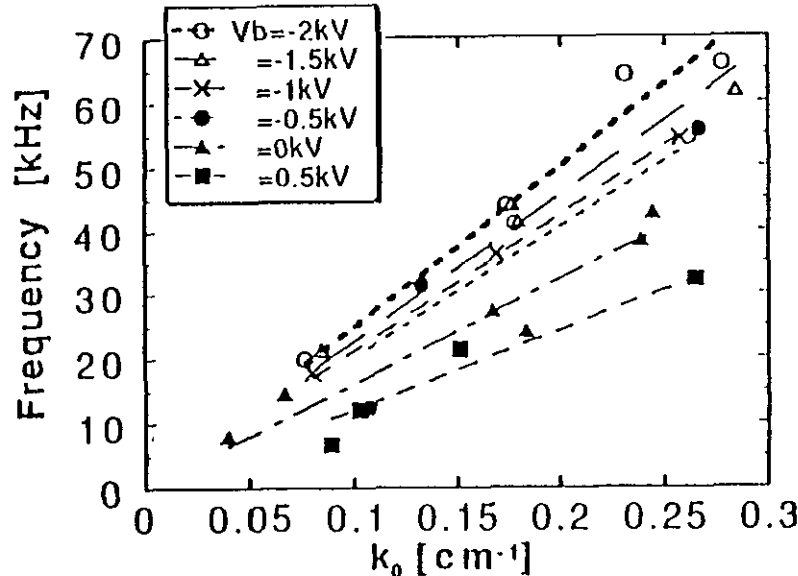
(2) 低周波成分

前項の他に周波数約50kHz前後の低周波密度揺動が観測された。周波数スペクトルを第2図に示す。(A)はプラズマの半径方向密度分布の中腹付近に、(B)は裾野付近に周波数を合わせて観測したものである。図の左に書かれている V_E はガンマ10両端に設置されているエンドプレートに印加されたバイアス電圧である。エンドプレート電圧によりプラズマ中の電位分布即ち半径方向電場を制御することが可能である。(A)の位置では、 $V_E=0V$ の時に強く励起されていたコヒーレントなモードが V_E を負にすると抑制されている。(B)では幅広いモードが励起され、 V_E を下げると逆に強くなっている。

る。この揺動は周波数の電場依存性、マイクロ波フ라운ホーファー回折法、プラスマ柱を取囲むように周辺部に取付けた静電プローブによる測定等と併せてドップラシフトを受けたExBドリフト波と同定された。なお、実験条件は異なっているが静電プローブにより求められた分散関係を第3図に示す。



第2図
周波数スペクトル



第3図
分散図

[11] 非等方プラズマにおけるイオン温度勾配不安定性^{講29)}

タンデムミラープラズマのような非等方プラズマにおけるイオン温度勾配モードの安定性を局所理論と非局所理論の両方から調べ、また両者の比較を行った。局所理論による安定性は局所分散式の数値計算から求め、また非局所理論による安定性は2階の固有値方程式をシューティング法で数値計算して求めた。

この不安定性を特徴付ける重要なパラメータは、

$$\eta_{\perp} = \frac{d \ln T_{\perp}}{d \ln n}, \quad \eta_{\parallel} = \frac{d \ln T_{\parallel}}{d \ln n}$$

で与えられる。ここで、 n はプラズマ密度、 T_{\perp} 、 T_{\parallel} はイオン温度の磁場に垂直及び平行な成分である。ガンマ10プラズマに近いパラメータでの数値計算結果を図1と図2に示す。図1は $\eta_{\perp} = \eta_{\parallel}$ の場合のイオン温度勾配モードの実周波数 ω_r (□、■)と成長率 γ (○、●)の η_{\parallel} 依存性を示したものである(図の η_{\perp} と η_{\parallel} における添字0は η_{\perp} と η_{\parallel} の径方向分布の最大値を表わす)。○と□は局所理論による結果であり、また●と■は非局所理論による結果を表わす。 η_{\parallel} が大きくなるにつれて成長率 γ が増大しているが、非局所理論で得られる成長率は局所理論で得られる最大成長率よりも小さい値であることが分かる。これは η の大きい局所不安定領域で励起された不安定モードの固有関数が η の小さい局所安定領域へ伝播するためである。図2は $\eta_{\parallel} - \eta_{\perp}$ 面におけるイオン温度勾配モードの安定-不安定境界を示している。実線より上が不安定領域で、下が安定領域である。図1との対応から明らかなように、非局所理論の方が局所理論よりも不安定性の条件はきつくなっている。実験との比較においては、局所理論よりも非局所理論による結果と対応させる方がより現実的である。

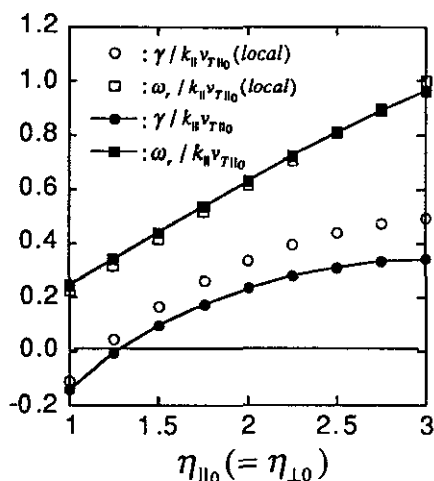


図. 1

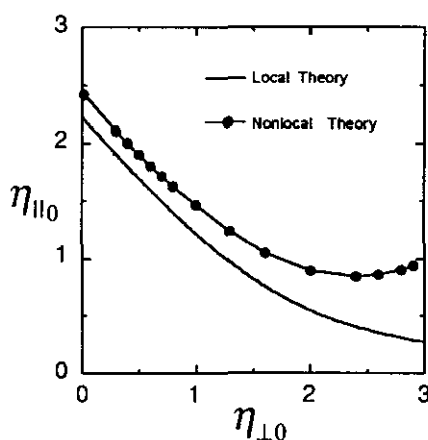


図. 2

[12] 半導体検出器のX線に対する新感度理論の提唱とその実験による実証

シリコン表面障壁型 (SSB) 半導体検出器の詳細なX線エネルギー感度特性を、高エネルギー物理学研究所の2.5GeV 陽電子蓄積リングからのシンクロトロン放射光を用いて計測した。この結果、これまで報告されてきた半導体検出器のX線エネルギー感度に関する理論、即ち(i)シリコン半導体検出器のX線に対する感度はそのp n接合部にできる空乏層の厚さで決まる (従来の教科書理論)、あるいは(ii)最近のマサチューセッツ工科大のグループが提唱しているシリコンウエハー全体の厚さで決まる

(物理機構は不明)、という考え方と実際のデータとが異なるという事が本論文の詳細なデータにより明らかになった。(図1) この発見はこれまで世界中の主要装置の殆どで行われて来た、SSB検出器で測定されたプラズマ電子温度の絶対値に関する報告だけでなく、プラズマの振る舞いに関する議論に対しても、修正を含め、大きな影響を与える事を意味する。(図2)

このSSB検出器の感度についての正確な解釈を与える物理機構として、我々は新たに無電場基板領域に生成された電荷の熱拡散効果を考慮した。即ち、空乏層と無電場基板領域の両方がX線に関する有感度領域であり、実際のSSB検出器の感度に関する物理的機構を知る為にはこの両方の領域での電荷の振る舞いを考慮しなければならないという、SSB検出器のX線に対する新感度理論を提唱した。これらの物理機構に基づき、我々の新しい感度理論と実験データが良い一致を示す事を、世界に先駆けて示した。(図1)

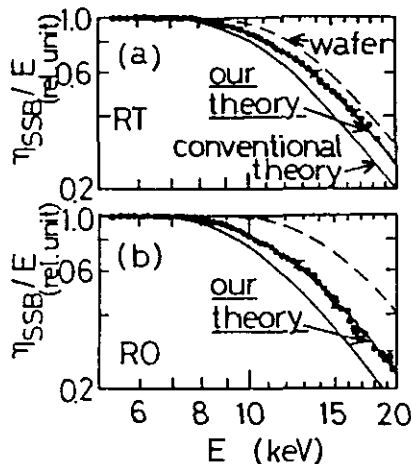


図1 The experimental data [see Figs. 2(a) and 2(b)] are compared with the prediction from our new theory on the energy response of SSB detectors [see Eq. (1)]. The data-fitting curves are calculated using the combination of the conventional depletion-layer contribution and of the charge contribution diffusing from the field-free substrate region to the depletion layer within the thermal charge-diffusion length L of $75 \mu\text{m}$. It is noteworthy that both data in (a) (the RT detector having $d_{\text{sub}} = 142 \mu\text{m}$) and (b) (the RO detector having $d_{\text{sub}} = 330 \mu\text{m}$) are fitted using $L \approx 75 \mu\text{m}$: If the value of L ranged between 142 and $330 \mu\text{m}$, then a larger contribution of diffusing charge for the RO detector having $d_{\text{sub}} > 142 \mu\text{m}$ would be anticipated compared with the diffusion contribution for the RT detector. Similar response data for both detectors consistently support the range of $L \approx 75 \mu\text{m}$, which is sufficiently less than $142 \mu\text{m}$.

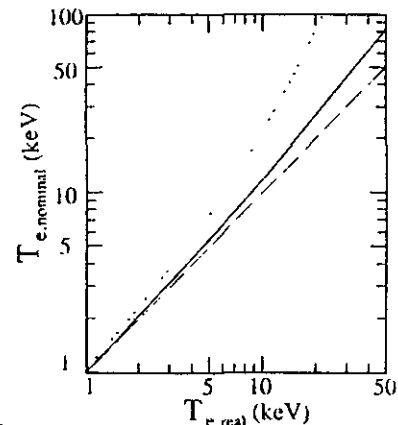


図2 An example of the applications of the actual response of the RT detector. Actual plasma-electron temperatures $T_{e,\text{real}}$ reduced from x-ray bremsstrahlung emission (see Refs. [2] and [3]) using the SSB calibration data [or from Eq. (1)] are compared with those using the commonly utilized conventional theory on the SSB sensitivity $T_{e,\text{nominal}}$ (the solid curve). The overestimation of electron temperatures using the conventional theory arises from the underestimation of the SSB response as seen in Fig. 3 (thereby, the overcompensation for the temperature estimation). On the curve, the same x-ray-emission level is calculated using the above different SSB response theories (or the SSB calibration data). The dotted curve is the result from not only the use of the conventional theory but also the misusage of the nominal catalogue value ($100 \mu\text{m}$) of the depletion-layer thickness for the RT detector.

[13] マイクロチャンネルプレート、および金のフォトカソードのX線エネルギー感度特性の基礎研究

マイクロチャンネルプレート (MCP)、および金のフォトカソード等のX線検出感度特性に関する基礎研究を行っている。これはプラズマの正確な電子温度計測に対する基礎特性データを確立する意味で重要且つ不可欠である。

そこで、MCPと金のフォトカソードのX線検出感度の校正実験をシンクロトロン放射光を用いて、12eVから82.5keVのエネルギー領域にわたっておこなった。(図1) 金の量子効率については、すでに報告されているいくつかのデータ点と比較検討した。(図2) 他方、12-35.9eVのエネルギーに対しては本論文により我々が新たに得たデータ点を報告した。MCPの光子に対する検出効率に関しては、真空紫外光の領域の12eVから硬X線の領域である82.5keVまで入射角に対する依存性も含めて調べた。このMCPの検出効率の広いエネルギー領域に対する特徴を以下に示す。(i) まずこの広いエネルギー領域に対してMCPの検出効率の変化が一桁の範囲に抑さえられている。これは、MCPに含まれるC, O, Si, Ba, Pbといった成分のX線吸収に対する効果が重なり合った為と考えられる。(ii) また、エネルギーに対する検出効率にこれらの成分の光電エッジエネルギーに対応した構造が見られた。(iii) 更にMCPのもつ利点としては、数十eV以下のエネルギーに対して検出効率が急速に無くなることであり、実験によりこれも明らかにした。これはX線の検出データから可視光線の影響を除く点で望ましい特長である。

また、このMCPとシリコン表面障壁型検出器のX線エネルギーに対する検出効率を比較し、その効率の違いを両者併せて用いることにより、多成分の電子温度を持つプラズマのX線計測が可能となることを示した。

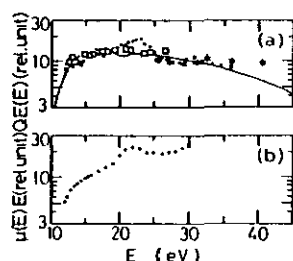


図1 (a) Quantum efficiency, $QE(E)$, of gold photocathodes as a function of photon energy, E . The $QE(E)$ data obtained in this experiment are plotted by filled circles. For references, previous data obtained by Walker et al. (\square), and by Cairns and Samson (solid curve) as well as Day et al. ($*$) are also plotted. (b) For the comparison, the $\mu(E) \cdot E$ values are calculated from the data in ref. [21] and are plotted by filled circles.

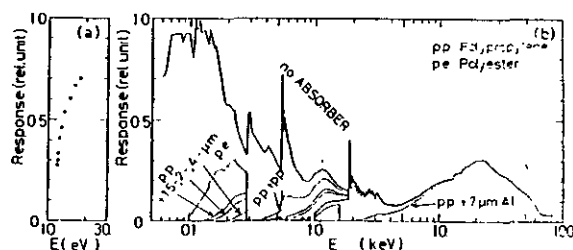


図2 Current response curve of MCP (a) in the energy range from 12 to 18 eV and (b) from 60 eV to 82.5 keV. Thin curves denote the detection response including the effects of various absorbers shown in the figure.

[14] 空間時間分解真空紫外分光器の開発

プラズマの高温化はプラズマ中不純物の高電離化を促すため、それから放射される電磁波を真空紫外、軟X線領域に集中させる。ガンマ10装置においても、このエネルギー領域の放射を分光することは重要であり、プラズマの放射損失量の見積り、不純物イオンとプラズマ閉じ込め電位の関係や不純物輸送現象の解明とその制御、プラズマの密度・温度の空間分布などの測定などに対し必要不可欠である。これらの目的のために、大口径プラズマから放射される真空紫外線および軟X線の空間分布を一度に計測できる空間時間分解分光器を新たに開発した。

この分光器には空間分解スリットと不等間隔回折格子、そして2次元検出器であるマイクロチャンネルプレート(MCP)が採用され、スペクトル分布とその空間分布が同時に計測できるように設計されている。図に真空紫外分光器の概念図を示す。プラズマ断面の各位置からの放射は、分光器入口の空間分解スリットにより空間方向の情報を失わずに回折格子に照射する。不等間隔回折格子はスペクトル線を平面状に結像させる。このようにして検出面上に、縦方向は空間、横方向に波長の情報が現われ、これをMCPで検出、増幅してその出力を蛍光面で可視化する。これにより、200～1000Åという広い波長範囲にわたって、25cmの視野で空間時間分解スペクトル像を得ることができる。

この分光器のように不等間隔回折格子と空間分解スリットを併用した光学系はこれまでに例のないものであるため、分光器の製作に際し光線追跡計算を実行し、分光器の基本性能の予測を行った。また、光線追跡の結果を確認するためにDCグロー放電管を用いて各種ガス放電の分光実験を行った。この実験により、本分光器が予想通りの性能を有していることを確認することができた。

本分光器をガンマ10の主要閉じ込め領域であるセントラル部に設置しタンデムミラープラズマの分光実験を行った。図に示すようにプラズマの中心から周辺部にかけて1度に真空紫外スペクトルの空間像を得ることに世界で初めて成功した。

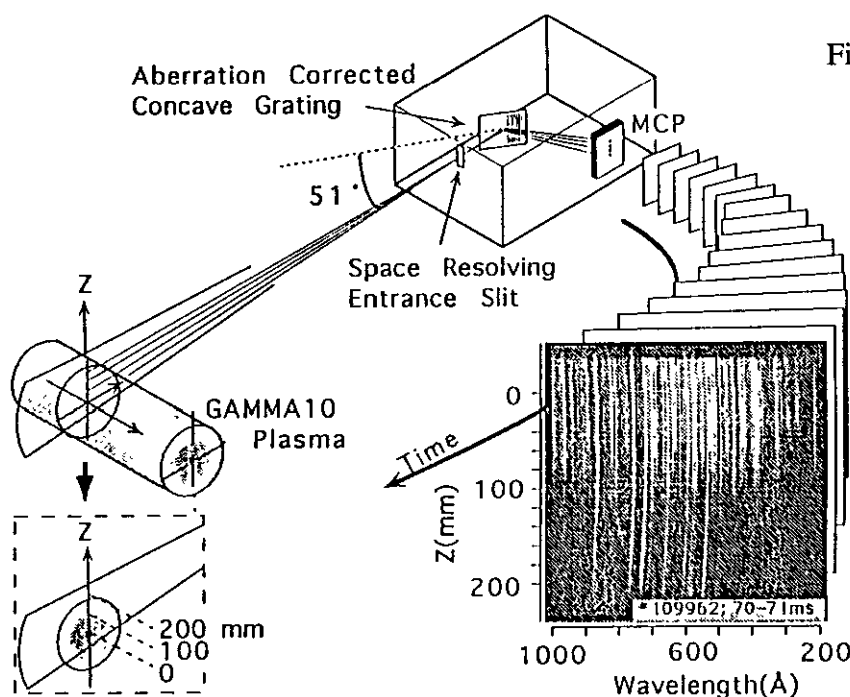


Fig. Schematic drawing of the space- and time-resolving VUV spectrograph.

<論文>

- 1 Observation of AIC-mode in ICRF-heated Central Cell Plasmas of GAMMA 10 Tandem Mirror,
M. Ichimura, M. Inutake, R. Katsumata, N. Hino, H. Hojo, K. Ishii, T. Cho,
M. Hirata, A. Itakura, I. Katanuma, Y. Kiwamoto, A. Mase, S. Miyoshi,
Y. Nakashima, T. Saito, T. Tamano, N. Yamaguchi, K. Yatsu,
1992 Int. Conf. on Plasma Physics (Innsbruck, 1992), Plasma Phys. Contr.
Fusion 34, No. 13 (1992) p.1889-1894.
- 2 Microwave-mode Analyzer with Dispersive Reflector Antenna,
Y. Kiwamoto, F. Kira, T. Saito, K. Kurihara, M. Kawamura, S. Miyoshi,
M. Nakajima,
Rev. Sci. Instrum. 63, No.5 (1992) p.3167-3173.
- 3 Study of Potential Formation in an Open Magnetic Field Configuration,
K. Kurihara, Y. Kiwamoto, T. Saito, K. Yatsu and S. Miyoshi,
J. Phys. Soc. Japan 61, No.9 (1992) p.3153-3165.
- 4 Observation of Loss Boundaries and Ion Flux Spectra of End-Loss Ions in the Tandem Mirror GAMMA 10,
K. Ishii, Y. Maeda, K. Tsumori, Y. Shimouchi, I. Katanuma, A. Itakura, K. Yatsu,
S. Miyoshi,
Phys. Fluids B 4, No.12 (1992) p.3823-3826.
- 5 Scaling Study of Potential in the End Region of a Tandem Mirror Based on End-Loss Electron Measurement,
T. Saito, Y. Kiwamoto, K. Kurihara, T. Cho, M. Inutake, S. Miyoshi, T. Tamano and
K. Yatsu,
Phys. Fluids B 5, No.3 (1993) p.866-871.
- 6 X-ray Studies of Various Shapes of Electron-Velocity Distribution Functions and of Electron Confinement Affected by Kilovolt-Range Electrostatic Potentials,
T. Cho, M. Hirata, E. Takahashi, K. Ogura, K. Masai, N. Yamaguchi, T. Kondoh,
K. Matsuda, H. Hojo, M. Inutake, K. Ishii, Y. Kiwamoto, A. Mase, T. Saito, K. Yatsu
and S. Miyoshi,
Phys. Review A 45, No.4 (1992) p.2532-2545.
- 7 X-ray Detection Characteristics of Gold Photocathodes and Microchannel Plates Using Synchrotron Radiation (10 eV-82.5 keV),
M. Hirata, T. Cho, E. Takahashi, N. Yamaguchi, T. Kondoh, K. Matsuda, S. Aoki,
K. Tanaka, H. Maezawa and S. Miyoshi,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 66, No.4 (1992)
p.479-484.

- 8 X-ray Detector Characterization and Applications for Plasma Research,
T.Cho, M.Hirata, E.Takahashi, N.Yamaguchi, T.Kondoh, T.Kuwabara, K.Yatsu,
K.Ogura, S.Aoki, H.Maezawa and S.Miyoshi,
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B **66**, No.4 (1992)
p.485-491.
- 9 A Theory on the X-ray Sensitivity of a Silicon Surface-Barrier Detector Including a Thermal
Charge-Diffusion Effect,
T.Cho, M.Hirata, E.Takahashi, T.Teraji, N.Yamaguchi, K.Matsuda, A.Takeuchi,
J.Kohagura, K.Ogura, T.Kondoh, A.Osawa, K.Yatsu, T.Tamano and S.Miyoshi,
Journal of Applied Physics **72**, No.8 (1992) p.3363-3373.
- 10 Evidence Against Existing X-ray-Energy Response Theories for Silicon-Surface-Barrier
Semiconductor Detectors,
T.Cho, E.Takahashi, M.Hirata, N.Yamaguchi, T.Teraji, K.Matsuda, A.Takeuchi,
J.Kohagura, K.Yatsu, T.Tamano, T.Kondoh, S.Aoki, X.W.Zhang, H.Maezawa and
S.Miyoshi,
Physical Review A **46**, No.6 (1992) p.3024-3027.
- 11 Electrostatic Potential in the Endcells of a Tandem Mirror under Electron Cyclotron
Resonance Heating,
I. Katanuma, Y. Kiwamoto, H. Washimi, K. Ishii, K. Yatsu, S. Miyoshi,
J. Phys. Soc. Japan **61**, (1992) p.542.
- 12 Investigation of Recycling in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
Y. Nakashima, K. Yatsu, K. Tsuchiya, M. Ichimura, N. Yamaguchi, M. Inutake,
M. Shoji, K. Ohtoshi, T. Tamano and S. Miyoshi,
J. Nucl. Materials **196-198**, (1992) p.493-497.
- 13 Temperature Anisotropy Measurement Using a Diamagnetic Loop Array,
R. Katsumata, M. Inutake, M. Ichimura, N. Hino, H. Onda, I. Katanuma, H. Hojo,
A. Mase and S. Miyoshi,
Jpn. J. Appl. Phys. **31**, No.7 (1992) p.2249-2254.
- 14 Analysis of Wall Conditioning by Using Plasma Impact Desorption in the Tandem Mirror
GAMMA 10,
Y. Nakashima, K. Yatsu, K. Tsuchiya, K. Ohtoshi, M. Shoji, N. Yamaguchi,
M. Ichimura, M. Inutake, T. Tamano and S. Miyoshi,
J. Nucl. Materials **200**, No.3 (1993) p.351-354.
- 15 Observation of the X-ray Energy Response of a Silicon Surface-Barrier Detector in the 5-20
keV Energy Range,
T.Cho, N.Yamaguchi, M.Hirata, E.Takahashi, S.Miyoshi, K.Ogura, S.Aoki,
H.Maezawa and X.W.Zhang,

<学位論文>

修士論文

庄司 主 (1993年3月)

ガンマ10セントラル部におけるイオン温度の径方向分布の解析

加藤潤悟 (1993年3月)

空間時間分解直入射分光器の開発と大口径プラズマ分光への応用

桑原 建 (1993年3月)

新型端損失イオン計測器の制作とイオン閉じ込め電位の比例則の研究

斎藤美紀 (1993年3月)

GAMMA10における電位の密度依存性に関する研究

岸田行盛 (1993年3月)

ガンマ10における中性粒子ビーム入射による電位形成に関する研究

松田圭史 (1993年3月)

ガンマ10セントラルセル部のX線トモグラフィ計測

<講演>

1 Investigation of Recycling in the GAMMA 10 Tandem Mirror,

Y. Nakashima, K. Yatsu, K. Tsuchiya, M. Ichimura, N. Yamaguchi, M. Inutake,
M. Shoji, K. Ohtoshi, T. Tamano and S. Miyoshi,

10th Int. Conf. on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices,
(Monterey, March 30 - April 3, 1992).

2 Analysis of Wall Conditioning by Using Plasma Impact Desorption in the Tandem Mirror
GAMMA 10,

Y. Nakashima, K. Yatsu, K. Tsuchiya, K. Ohtoshi, M. Shoji, N. Yamaguchi,
M. Ichimura, M. Inutake, T. Tamano and S. Miyoshi,

12th Int. Vacuum Congress 8th Int. Conf. on Solid Surfaces, (Hague, Oct. 12 -
16, 1992).

3 Confinement Scaling, Heating and Stability in the GAMMA 10 and HIEI Tandem Mirrors,

M. Inutake, T. Tamano, T. Cho, M. Hirata, H. Hojo, M. Ichimura, K. Ishii,
A. Itakura, I. Katanuma, Y. Kiwamoto, A. Mase, S. Miyoshi, Y. Nagayama,
Y. Nakashima, T. Saito, Y. Tatematsu, N. Yamaguchi, K. Yatsu and Y. Yasaka,
O. Sasaki, M. Shima, H. Yoshida, R. Itatani,

14th Int. Conf. on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research
(Würzburg, 1992).

- 4 Potential Control and Fluctuation Studies in the GAMMA 10 Tandem Mirror,
A. Mase, M. Inutake, K. Ishii, A. Itakura, T. Tamano,
Proc. of IAEA-TCM on Tokamak Plasma Biasing, (Montreal, 1992). p.188.
- 5 A Broadband Reflectometer for the GAMMA 10 Tandem Mirror,
A. Mase, Y. Ito, T. Tokuzawa, A. Itakura, H. Satake, Y. Nagayama, T. Tamano,
Conf. Digest of 17th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Wave, SPIE-1992
(1992) p.370.
- 6 Potential Measurements on the Tandem Mirror GAMMA 10,
K. Ishii,
US-Japan Workshop on Technical Issues in the Application of Heavy Ion Beam
probes (New York, 1992).
- 7 Particle Recycling Studies on GAMMA 10,
K. Yatsu, Y. Nakashima, K. Tsuchiya and M. Syoji,
US-Japan Workshop on Studies on Edge Plasma Control and Transport Processes,
(P-210) (Univ. of Tsukuba, Dec. 1992).
- 8 Scaling Study of Plasma Potentials along Open Magnetic Field,
T. Saito,
US-Japan Workshop on Studies on Edge Plasma Control and Transport Processes,
(P-210) (Univ. of Tsukuba, Dec. 1992).
- 9 端損失電位計測とガンマ10エンド部電位のスケーリング
日本物理学会1992年秋の分科会（1992年9月、東京大学教養学部） 27aB1
斉藤輝雄、際本泰士、栗原一影、立松芳典、吉村泰夫、犬竹正明、
長 照二、玉野輝男、谷津 潔
- 10 開放端磁場におけるECRHを用いたサーマルダイクの検討
同上 27aB2
際本泰士、斉藤輝雄、立松芳典、片沼伊佐夫、玉野輝男
- 11 ガンマ10エンド部電位分布への捕捉電子の寄与
同上 27aB3
立松芳典、際本泰士、斉藤輝雄、玉野輝男
- 12 ガンマ10セントラル部におけるAIC不安定性の揺動解析
同上 27aB4
勝又竜太、石原 篤、佐々木功、中島博生、市村 真、犬竹正明、
間瀬 淳、石井亀男、中嶋洋輔、北條仁士、玉野輝男
- 13 Magnetic Shear Effect on Kelvin-Helmholtz Modes in Tokamaks
同上 28aB9
H. Hojo, Y. Kishimoto, J. W. Van Dam
- 14 ガンマ10のX線計測I[シリコン表面障壁型検出器のX線感度特性の新理論]

プラズマ・核融合学会第9回秋季講演会予稿集(1992年10月、東北大学工学部) p.81

長 照二、寺地徳之、平田真史、高橋栄一、松田圭史、竹内恵子、
小波蔵純子、山口直洋、谷津 潔、玉野輝男、三好昭一

15 ガンマ10のX線計測III[シリコン表面障壁型(S S B)検出器のX線検出特性実験]

同上 p.82

平田真史、長 照二、高橋栄一、寺地徳之、山口直洋、松田圭史、
竹内恵子、小波蔵純子、谷津 潔、玉野輝男、三好昭一

16 ガンマ10のX線計測III[プラズマ電子温度計測用光電子分光器の開発]

同上 p.83

高橋栄一、長 照二、平田真史、松田圭史、寺地徳之、竹内恵子、
山口直洋、谷津 潔、玉野輝男、三好昭一

17 ガンマ10のX線計測IV[セントラル部の電子温度分布計測]

同上 p.84

松田圭史、高橋栄一、長 照二、平田真史、寺地徳之、竹内恵子、
小波蔵純子、谷津 潔、玉野輝男、三好昭一

18 ガンマ10におけるプラグ部ECHパワーとエネルギー閉じ込め時間の相関

同上 p.85

桑原 建、長 照二、坂本宜照、平田真史、谷津 潔、玉野輝男、
三好昭一

19 ガンマ10における空間時間分解軟X線分光

同上 p.86

加藤潤悟、山口直洋、青田達也、佐藤祐希子、間瀬 淳、玉野輝男

20 ガンマ10におけるエンドプレートバイアス実験

同上 p.131

間瀬 淳、犬竹正明、石井亀男、板倉昭慶、北條仁士、伊藤康彦、
徳沢季彦、H. T. Evensen、佐竹秀和、玉野輝男

21 GAMMA10プラズマにおける電位の密度依存性II

同上 p.132

斎藤美紀、間瀬 淳、板倉昭慶、際本泰士、立松芳典、石井亀男、
長 照二、谷津 潔、玉野輝男

22 ELECAを用いたGAMMA10プラズマの端損失イオン測定

同上 p.133

田中俊明、石井亀男、中田敏敬、佐野昭宏、土屋 清、片沼伊佐夫、
間瀬 淳、際本泰士、谷津 潔、玉野輝男

23 磁力線方向の電位形成に関する計算

同上 p.134

片沼伊佐夫、際本泰士、石井亀男、谷津 潔、玉野輝男

24 ガンマ10アンカー部のイオン加熱制御と巨視的不安定性

同上 p.135

犬竹正明、石原 篤、勝又竜太、中島博生、佐々木功、市村 真、
山口直洋、長山好夫、中嶋洋輔、間瀬 淳、際本泰士、片沼伊佐夫、
北條仁士、玉野輝男

25 2方向観測によるGAMMA10プラズマ中H α 空間分布の画像再構成

同上 p.136

青田達也、山口直洋、加藤潤悟、佐藤祐希子、犬竹正明、間瀬 淳、
玉野輝男

26 ガンマ10セントラル部における温度非等方性の制御とAICモード制御の可能性

同上 p.137

市村 真、勝又竜太、佐々木功、石原 篤、中島博生、犬竹正明、
中嶋洋輔、間瀬 淳、玉野輝男

27 ガンマ10セントラル部における荷電交換中性粒子測定IV[ガスパフ追加実験にお
けるイオン温度の振舞い]

同上 p.197

庄司 主、中嶋洋輔、犬竹正明、谷津 潔、土屋勝彦、岸田行盛、
佐々木健治、市村 真、山口直洋、間瀬 淳、長 照二、玉野輝男

28 ガンマ10におけるグローバル粒子バランスの検討

同上 p.198

土屋勝彦、中嶋洋輔、庄司 主、岸田行盛、佐々木健治、市村 真、
山口直洋、長 照二、犬竹正明、谷津 潔、玉野輝男、三好昭一

29 Nonlocal Study of Ion Temperature Gradient Modes in an Anisotropic Plasma

同上 p.199

北條仁士

30 文部省科学研究費補助金：重点領域研究「X線結像光学」公開シンポジウム
(1993年3月11日)

山口直洋

31 ガンマ10プラズマ周辺部のガス圧力測定用ペニング放電型真空計の製作と
その特性

プラズマ・核融合学会第10回年会予稿集(1993年3月、東洋大学工学部)
p.144

土屋勝彦、中嶋洋輔、谷津 潔、佐々木健治、庄司 主、岸田行盛、
山口直洋、玉野輝男

32 ガンマ10セントラル部における荷電交換中性粒子測定V[高イオン加熱閉じ込め
実験におけるイオンのエネルギー損失量の径方向分布の解析]

- 同上 p.145
庄司 主、中嶋洋輔、谷津 潔、土屋勝彦、岸田行盛、佐々木健治、
犬竹正明、市村 真、長 照二、山口直洋、間瀬 淳、玉野輝男
- 33 ガンマ10セントラル部における中性粒子輸送モンテカルロシミュレーション
同上 p.146
中嶋洋輔、庄司 主、土屋勝彦、山口直洋、青田達也、岸田行盛、
佐々木健治、谷津 潔、玉野輝男
- 34 ガンマ10バリア部におけるNBI実験
同上 p.147
岸田行盛、谷津 潔、中嶋洋輔、大川和夫、土屋勝彦、庄司 主、
佐々木健治、北條仁士、玉野輝男
- 35 ガンマ10における空間時間分解不純物分光
同上 p.148
加藤潤悟、山口直洋、青田達也、佐藤祐希子、間瀬 淳、玉野輝男
- 36 ガンマ10のX線計測I[サーマルバリアのエネルギー閉じ込め効果]
同上 p.183
平田真史、長 照二、高橋栄一、松田圭史、寺地徳之、竹内恵子、
小波蔵純子、桑原 建、坂本宜照、石井亀男、庄司 主、中嶋洋輔、
谷津 潔、玉野輝男
- 37 ガンマ10のX線計測II[光電子分光法を用いた新型X線計測器の開発と電子閉じ
込め研究]
同上 p.184
高橋栄一、長 照二、平田真史、松田圭史、寺地徳之、竹内恵子、
小波蔵純子、桑原 建、坂本宜照、山口直洋、庄司 主、中嶋洋輔、
谷津 潔、玉野輝男
- 38 ガンマ10のX線計測III[サーマルバリア電位とX線トモグラフィ計測データの
相関]
同上 p.185
竹内恵子、長 照二、平田真史、高橋栄一、松田圭史、寺地徳之、
小波蔵純子、桑原 建、坂本宜照、谷津 潔、玉野輝男
- 39 ガンマ10のX線計測IV[シリコン表面障壁型検出器のX線感度特性の新理論]
同上 p.186
寺地徳之、長 照二、平田真史、高橋栄一、松田圭史、竹内恵子、
小波蔵純子、山口直洋、谷津 潔、玉野輝男
- 40 磁場勾配域におけるECRHの応答関数的表示
同上 p.187
際本泰士、斉藤輝雄、立松芳典、片沼伊佐夫、吉村泰夫、玉野輝男

- 41 タンデムミラープラズマの回転測定I
 同上 p.188
 長山好夫、山口直洋、青田達也
- 42 ガンマ10の巨視的安定性に対する電位の効果
 同上 p.189
 犬竹正明、中島博生、石原 篤、勝又竜太、市村 真、長山好夫、
 石井亀男、間瀬 淳、北條仁士、玉野輝男
- 43 ガンマ10におけるプラズマ分圧分布と巨視的安定性限界
 同上 p.222
 勝又竜太、石原 篤、佐々木功、犬竹正明、市村 真、中嶋洋輔、
 山口直洋、際本泰士、片沼伊佐夫、北條仁士、玉野輝男
- 44 ガンマ10周辺プラズマにおける密度揺動スペクトル解析
 同上 p.223
 石原 篤、勝又竜太、犬竹正明、市村 真、板倉昭慶、間瀬 淳、
 北條仁士、玉野輝男
- 45 E×B Rotation Effects on GAMMA-10 MHD Stability
 同上 p.224
 北條仁士、犬竹正明、市村 真、勝又竜太、間瀬 淳、板倉昭慶
- 46 リフレクトメーターを用いたAIC不安定性の観測
 同上 p.225
 間瀬 淳、市村 真、佐竹秀和、勝又竜太、徳沢季彦、伊藤康彦、
 板倉昭慶、北條仁士、犬竹正明、玉野輝男
- 47 リフレクトメーターによるガンマ10密度揺動計測
 同上 p.226
 徳沢季彦、間瀬 淳、E. J. Doyle、伊藤康彦、佐竹秀和、板倉昭慶、
 斎藤美紀、玉野輝男
- 48 ガンマ10プラズマECH印加による電位構造の変化
 同上 p.227
 石井亀男、田中俊明、中田敏敬、佐野昭宏、土屋 清、板倉昭慶、
 片沼伊佐夫、際本泰士、市村 真、谷津 潔、玉野輝男
- 49 ミラー磁場中の電位形成(ミラースロート近傍)についての計算
 同上 p.228
 片沼伊佐夫、L. J. Bruskin、際本泰士、石井亀男、谷津 潔、玉野輝男
- 50 Effects of ExB Rotation on TAE in Tokamaks
 日本物理学会第48回年会(1993年3月、東北大学川内キャンパス)
 30pZC5
 北條仁士、岸本泰明、J. W. Van Dam